Aus dem XCII. Bande der Sitzb. der kais. Akad. der Wissensch. II. Abth. Juni-Heft. Jahrg. 1885.

Über den elektrischen Widerstand des Kupfers bei den niedrigsten Kältegraden.

Von Sigmund v. Wroblewski.

(Mit 1 Holzschnitt.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 11. Juni 1885.)

Noch im Jahre 1858 machte Clausius[1] bei der Betrachtung der Versuche von Arndtsen[2] über den Leitungswiderstand der Metalle bei verschiedenen Temperaturen die Bemerkung, dass die hier auftretenden Temperaturcoefficienten dem Ausdehnungscoefficienten permanenter Gase nahe liegen. Vernachlässigt man das beim Eisen vorkommende quadratische Glied und nimmt man aus den sämmtlichen ersten Coefficienten das Mittel, so erhält man für den Leitungswiderstand w_Θ bei der Temperatur Θ, verglichen mit dem Leitungswiderstand w_0 beim Gefrierpunkte, die Formel

$$w_\Theta = w_0(1 + 0\cdot 00366\,.\,\Theta),$$

woraus folgen würde, dass der Leitungswiderstand der einfachen Metalle im festen Zustande nahe proportional der absoluten Temperatur wäre. Wäre man also im Stande, die Versuchstemperatur bis zu dem absoluten Nullpunkt zu erniedrigen, so würde man den elektrischen Widerstand der Metalle auf Null reduciren können. Mit anderen Worten müssten die Metalle bei — 273° C. die unendlich grosse Leitungsfähigkeit für Elektricität besitzen.

Obgleich die nachherigen Bestimmungen von Matthiessen und v. Bose[3] die Einfachheit dieses Zusammenhanges zwischen der absoluten Temperatur und dem elektrischen Widerstande

[1] Clausius. Pogg. Ann. 104, pag. 650, 1858.

[2] Arndtsen. Ibd., pag. 1.

[3] Matthiessen und v. Bose. Pogg. Ann. 115, p. 391, 1862.

unwahrscheinlich machten, so schien mir die Bemerkung von Clausius interessant und wichtig genug, um einer experimentellen Prüfung unterworfen zu werden.

Ich habe mich desshalb entschlossen, vorläufig den Widerstand des Kupfers bis zu dem Temperaturminimum zu untersuchen, welches mit Hilfe des flüssigen Stickstoffs erreicht werden kann.

Der benützte Kupferdraht hatte 0·04 Mm. im Durchmesser und wurde mit doppelter Lage von weisser Seide umsponnen. Auf die Reinheit hin habe ich ihn nicht geprüft. Die Fabrik aber, bei welcher er bestellt war, garantirte 98percentige Leitungsfähigkeit.

Die Messungen geschahen nach der bekannten Wheatstone-Kirchhoff'schen Methode mit dem Gleitdraht. Zur Ermittelung der Widerstände diente ein Siemens'scher Widerstandskasten. Als Versuchstemperaturen wurden folgende gewählt:

1. Siedetemperatur des Wassers;
2. gewöhnliche Zimmertemperatur (etwa +21 bis +26° C.);
3. Schmelztemperatur des Eises;
4. Siedetemperatur des Äthylens unter dem atmosphärischen Druck (— 103° C.);
5. kritische Temperatur des Stickstoffs (etwa — 146° C.);
6. Siedetemperatur des Stickstoffs unter dem atmosphärischen Druck (— 193° C), und
7. eine nur unweit von der Erstarrungstemperatur des Stickstoffs (— 203° C.) entfernte Temperatur (also — 200 bis — 202° C.).

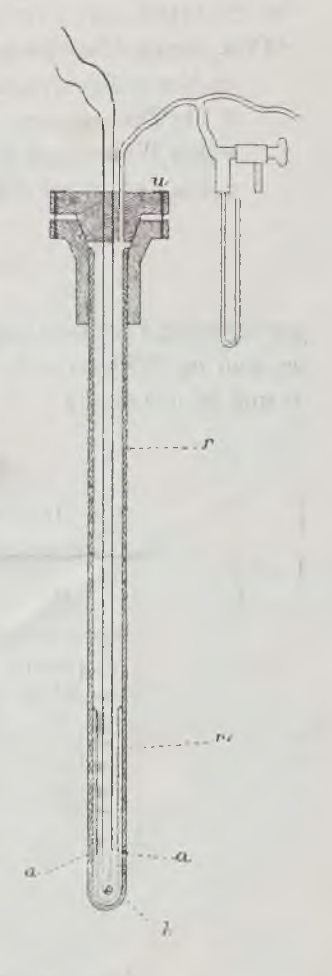
Ich konnte keine Zwischentemperaturen nehmen, da das Galvanometer, mit welchem ich die Temperaturen messe, diessmal zur Wheatstone'schen Brücke verwendet wurde.

Zu den Versuchen im flüssigen Stickstoff diente mein Apparat, welchen ich ausführlich in der Abhandlung „Über den Gebrauch des siedenden Sauerstoffs, Stickstoffs, Kohlenoxyds, sowie der atmosphärischen Luft als Kältemittel“ beschrieben habe.[1] Die hier beigegebene Figur gibt nur denjenigen Theil

---

[1] Siehe Wien. akad. Berichte, 91, p. 667—711. 1885.

dieses Apparates wieder, welcher zum Verstehen der Methode nothwendig ist.



Durch den Deckel *u* des Apparates wurden zwei vollständig isolirte Kupferdrähte von 0·9 Mm. Dicke in den Apparat hineingeführt und unten so lang gelassen, dass ihre Enden *a a* etwa 3 Ctm. weit von dem Boden des in die Glasröhre *r* hineingelegten Reagenzgläschens *r'* sich befanden.

Nachdem man sich von der vollständigen Isolation der beiden Drähte von dem Deckel *u* durch galvanometrische Messungen überzeugte, wurde der flüssige Stickstoff auf elektrische Leitungsfähigkeit untersucht. Zu diesem Zwecke wurde dieses Gas so verflüssigt, dass beide Kupferdrähte in der Flüssigkeit eintauchten. Der flüssige Stickstoff erwies sich als ein Isolator.[1]

Dann wurde das zu untersuchende Stück des Kupferdrahtes auf einem sehr dünnen Glasröhrchen von 7 Mm. Länge und 3·5 Mm. im Durchmesser zu einer Bobine *b* gewickelt, mit Seidenfaden zusammengebunden und mit beiden Enden an die Kupferdrähte *aa* angelöthet. Da die Messbrücke mehrere Meter weit von dem Verflüssigungsapparat entfernt war, so betrug der Widerstand sämmtlicher Zuleitungsdrähte bis zur Stelle, wo die Bobine angelöthet wurde — je nach der gewählten Dicke der Drähte — von 0·3 bis 0·274 S. E. Der zu bestimmende Widerstand der Bobine wurde immer durch Vergleich mit drei verschiedenen Widerständen ermittelt. Die Bestimmungen bei 0°

[1] Der flüssige Sauerstoff ist ebenfalls ein Isolator.

geschahen auf die Weise, dass die Bobine in eiskaltem Äther sich befand. Zur Erzeugung der niedrigsten Temperatur wurde der Stickstoff soweit verdampft, dass seine Spannkraft nur 10 bis 6 Ctm. Quecksilberdruck betrug.

In den nachfolgenden Tabellen bedeuten:

Θ die Temperatur;

w den Widerstand der Bobine in Siemens'schen Einheiten;

α den nach der Formel

$$\alpha = \frac{w_\Theta - w_{\Theta'}}{w_0 \, (\Theta - \Theta')}$$

gerechneten Coefficienten, wo w_0 den Widerstand bei 0° C. und w_Θ und $w_{\Theta'}$ Widerstände bei zwei nächstliegenden Temperaturen Θ und Θ' bedeuten.

Bobine Nr. I.

Drahtlänge etwa 45 Ctm.

Θ	w	α
+100° C.	5·174	
+ 21·4	3·934	0·004365
± 0	3·614	0·004136
—103	2·073	0·00414
—146	1·360	0·004588
—193	0·580	0·004592
—200	0·414	0·006562

Bobine Nr. II.

Nicht viel verschiedene Drahtlänge.

Θ	w	α
+100° C.	5·26	
± 0	3·687	0·004266
—103	2·131	0·004097
—146	1·427	0·004441
—193	0·6055	0·004741

Bobine Nr. III.

Ein über 2 M. langer Draht. Die Bobine ist an zwei 2 Mm. dicke Kupferdrähte angelöthet.

Θ	w	α
+ 23·75° C.	19·251	
± 0	17·559	0·004057
—103	9·848	0·004263
—146	6·749	0·004104
—193	2·731	0·004869
—201	1·651	0·007688

Dieselbe Bobine angelöthet an Kupferdrähte von 0·9 Mm. Dicke.

Θ	w	α
+ 25° C.	19·262	
± 0	17·489	0·004056
—103	9·769	0·004286
—146	6·738	0·004030
—193	2·754	0·004847
—201	1·655	0·007855

Diese Zahlen stellen die Mittelwerthe von mehreren Beobachtungsreihen dar. Eine dauernde Änderung des Widerstandes in der Bobine durch Abkühlung auf — 200° C. konnte ich nicht bemerken.

Vergleicht man diese Zahlen, so sieht man, dass der elektrische Widerstand des Kupfers viel schneller als die absolute Temperatur sinkt und bei der Temperatur, die unweit von denjenigen Temperaturen liegt, welche man durch Verdampfen des flüssigen Stickstoffs erreicht, sich der Null nähert. Trägt man die Resultate graphisch auf, so sieht man, dass dieses Ereigniss noch lange vor dem Erreichen des absoluten Nullpunktes eintreten muss.

Ich bin weit davon entfernt zu behaupten, den ganzen Kälteeffect, den man aus den verflüssigten Gasen ziehen kann, bereits

realisirt zu haben und ich halte desshalb nicht für unwahrscheinlich, dass wir — besonders wenn es einmal gelingen sollte, den Wasserstoff im Zustande einer statischen Flüssigkeit in grösseren Quantitäten zu haben[1] — im Stande sein werden, im Kupfer einen Leiter von unendlich kleinem elektrischen Widerstande zu bekommen.

Ein solcher Leiter hätte ganz merkwürdige Eigenschaften. Die Elektricität würde sich in ihm ohne Wärmeentwicklung fortbewegen und der Nutzeffect bei der elektrischen Kraftübertragung in einem solchen Leiter würde sich dem Eins nähern. Obgleich hievon vorerst keine praktischen Resultate erzielt werden könnten, so ist es nichtsdestoweniger wichtig, zu constatiren, dass die obigen Andeutungen nicht dem Gebiete der Phantasie angehören und mit den Mitteln, welche uns die Verflüssigung der Gase in die Hand gelegt hat, realisirbar sind.[2]

---

[1] Über den gegenwärtigen Zustand der Verflüssigungsfrage des Wasserstoffes siehe meine Notiz in Compt. rend. 100, p. 981—982. 1885.

[2] Aus Compt. rend. vom 11. Mai d. J. (100, 1188—1191) ersehe ich, dass Cailletet und Bouty den elektrischen Widerstand des Kupfers bei niedrigen Temperaturen neulich gemessen haben. Sie waren aber nicht im Stande, eine niedrigere Temperatur als — 123° C. herzustellen.

Aus der k. k. Hof- und Staatsdruckerei in Wien.